

# Op zoek naar de zwaarste ster

## I: Sterren wegen

Claude Doom

**O**NZE ZON HEEFT EEN MASSA VAN  $2 \cdot 10^{30}$  KG. Dat is meer dan duizend keer meer dan Jupiter en deze planeet 'weegt' 300 keer zoveel als de Aarde, die zelf 6000 miljard keer een miljard ton 'weegt'. Ondanks die immense massa is de Zon een vrij bescheiden ster. We weten dat vele sterren lichter zijn dan de Zon: de helft van de massa, een vijfde en zelfs kleiner. We weten ook dat heel wat sterren zwaarder zijn dan de Zon: twee keer, drie keer, zelfs tientallen keer zwaarder.

De kleinst mogelijke massa van een ster is vrij goed gekend. Gasballen die minder massa hebben dan 7 tot 8% van die van de Zon zijn geen sterren meer, maar zijn bruine dwergen. In hun inwendige is de temperatuur niet hoog genoeg om de 'klassieke' omzetting van waterstof in helium op gang te houden. Ze 'verbranden' enkel wat deuterium ('zwaar' waterstof, met een extra neutron in de atoomkern). Is de massa van het object kleiner dan 13 keer die van Jupiter, dan lukt zelfs dat niet meer. In dit geval spelen we van een gasplaneet, een 'zware' Jupiter.

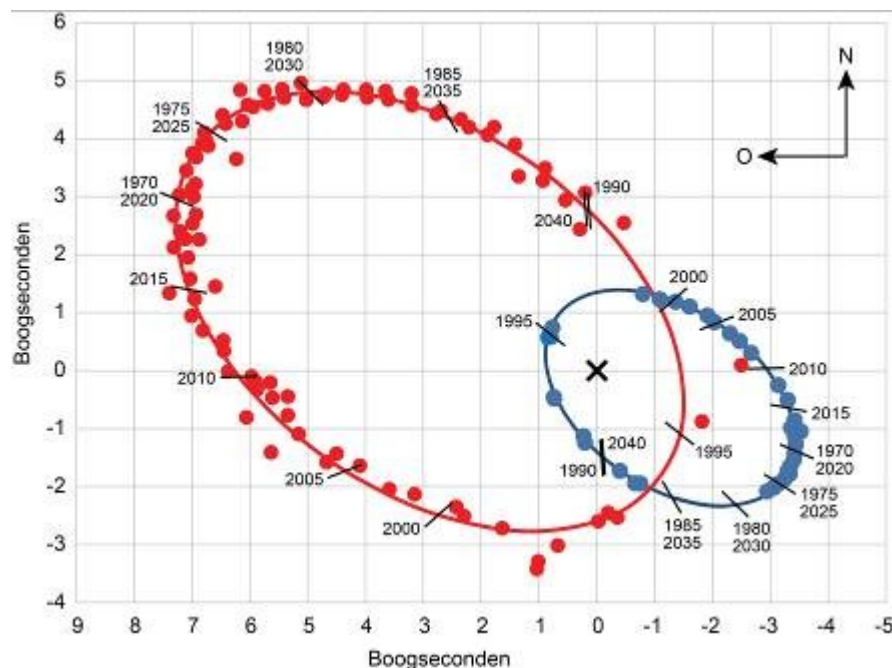
De grootst mogelijke massa van een ster kennen we echter niet zo goed. Uit theoretische analyses van de structuur van sterren bleek reeds in de jaren '40 van de vorige eeuw dat

zeer zware sterren niet stabiel zijn. Ze beginnen spontaan te trillen. Die trillingen worden al snel zo sterk dat de ster zijn buitenste lagen afstoot, waardoor de massa afneemt. In 1941 vond de Belgische sterrenkundige Paul Ledoux een theoretische bovenlimiet van 100 zonsmassa. Recentere analyses leiden tot bovenlimieten die uiteenlopen van 60 tot 150 zonsmassa. Er is dus geen eensgezindheid tussen theoretici over hoe zwaar een ster maximaal kan zijn. We moeten dus eerder naar waarnemingen kijken om uit te zoeken hoe zwaar sterren kunnen zijn. Daarom gaan we op zoek naar de zwaarste ster.

### Zware dubbelsterren

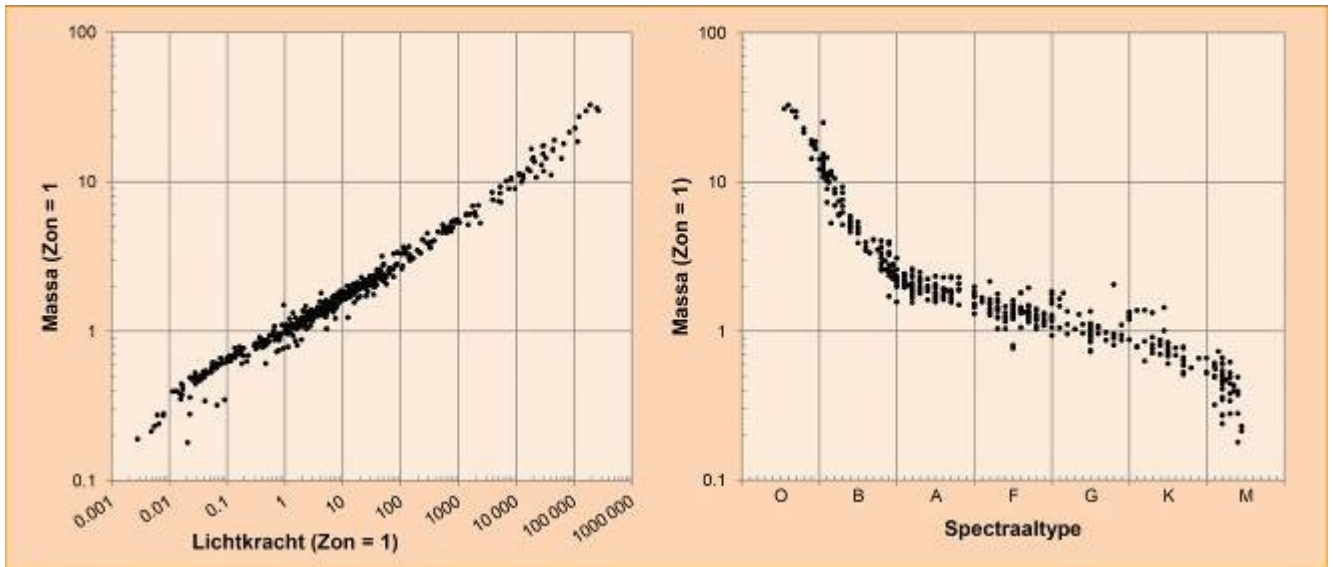
We kunnen de massa van een ster bepalen door ze te 'wegen'. Dat kan enkel wanneer de ster lid is van een dubbelstersysteem. Dan kunnen we uit de beweging van de twee sterren informatie afleiden over hun massa.

Bij visuele dubbelsterren lukt het meestal enkel om de onderlinge baan tussen de sterren te bepalen. Daaruit kunnen we in het beste geval de totale massa van beide componenten afleiden. In de enkele gevallen waar men de afzonderlijke baan van beide componenten bepaald heeft, kon



De baan van Sirius A en B aan de hemel. Dit is een visuele dubbelster waarvan we de afzonderlijke beweging van beide sterren kunnen waarnemen. De figuur toont waarnemingen van de positie van de heldere A-component (blauw) en van de zwakke witte dwerg (rood) ten opzichte van het zwaartepunt van het stelsel over een periode van 1862 tot 1978. De (voorspelde) positie van beide sterren langs hun baan is om de vijf jaar aangegeven. Uit de baananalyse blijkt dat, als we veronderstellen dat de afstand tot Sirius 8.6 lichtjaar bedraagt, Sirius A een massa heeft van 2.0 zonsmassa en Sirius B van 1.0 zonsmassa.

Deze figuur toont ook dat de omstandigheden stilaan optimaal worden om met een (grote) sterrenkijker te proberen om Sirius-B waar te nemen. De onderlinge afstand bedraagt nu ongeveer 10 boogseconden en zal in de komende tien jaar nog toenemen.

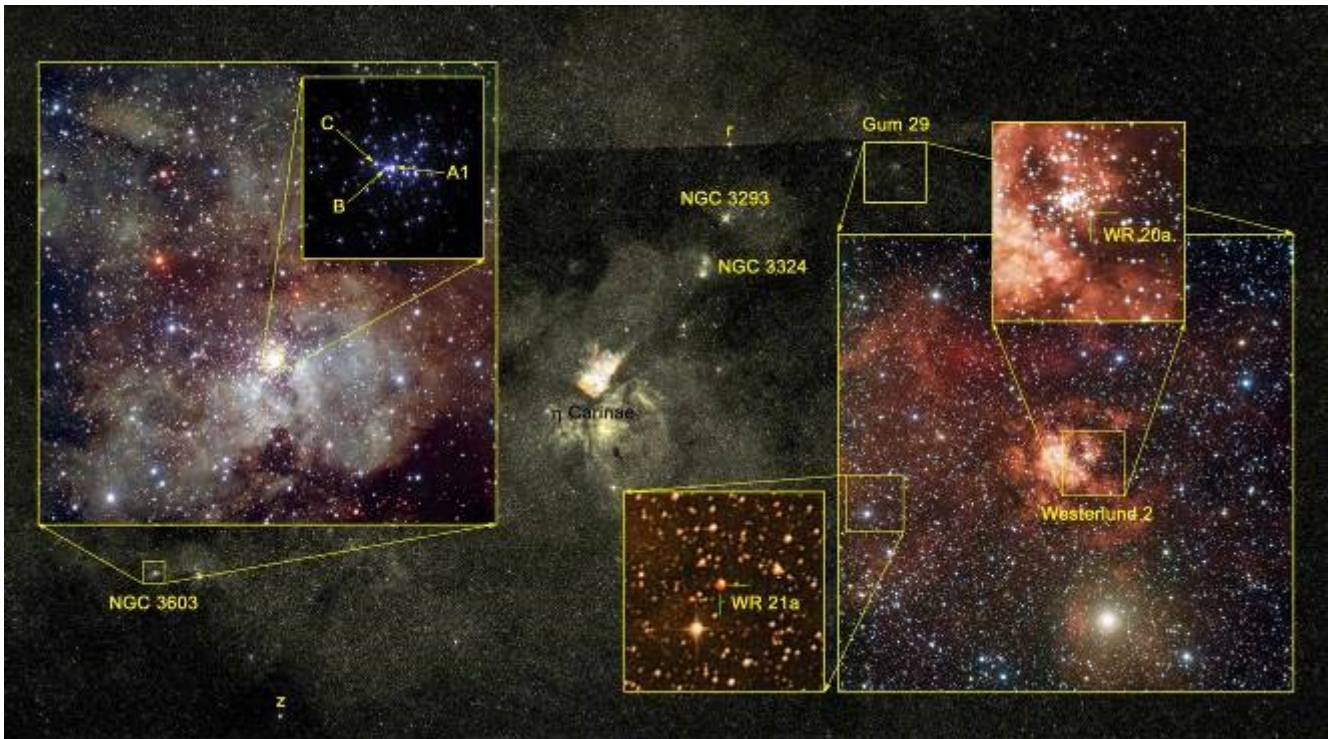


De massa, lichtkracht en het spectraaltipe van sterren in een 150-tal goed bestudeerde nauwe dubbelsterren. Links zien we het verband tussen de massa en de lichtkracht. Rechts zien we dat sterren met een 'vroeger' spectraaltipe (O en B) grotere massa's hebben dan sterren met een 'later' spectraaltipe (A tot M). Gegevens: *Eker et al., 2014*.

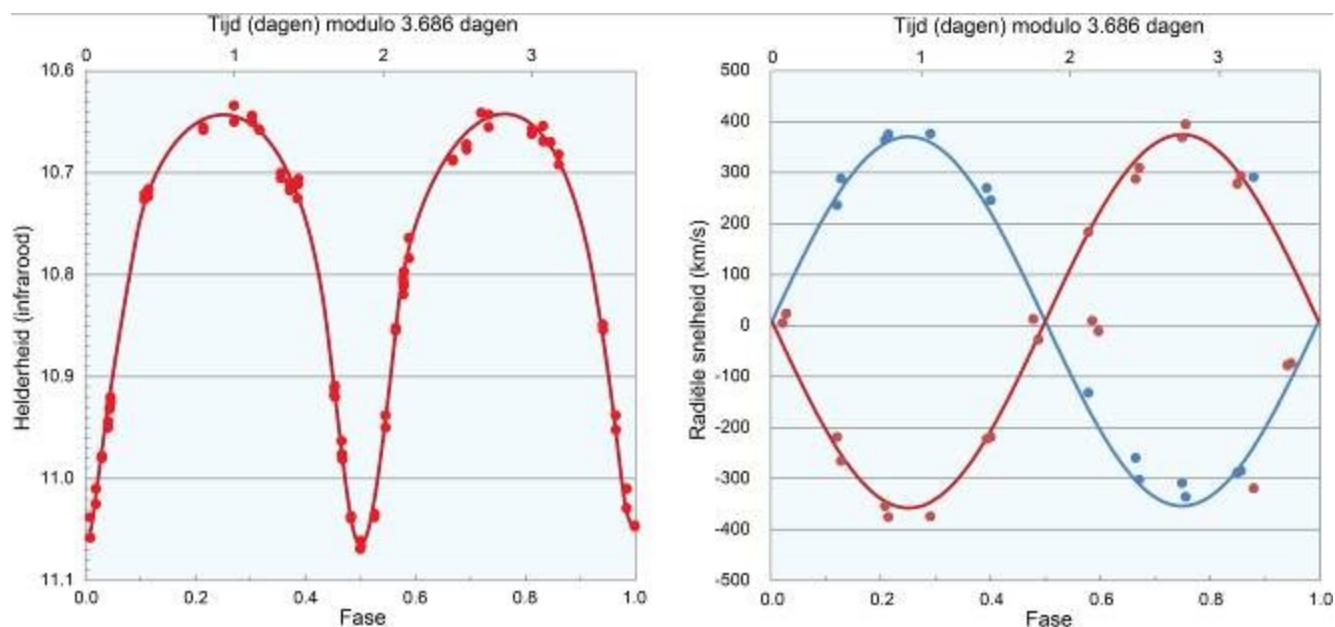
men ook de massa van beide sterren afleiden. Dat is bijvoorbeeld het geval met Sirius, waar men uit de visuele baan van beide componenten kon afleiden dat ze 2.0 en 1.0 zonsmassa zwaar zijn.

Bij spectroscopische dubbelsterren hebben we meer kan-

sen. Hierbij krijgen we informatie over de banen van de componenten door de radiële snelheid — de snelheid in de gezichtsrichting — gedurende één of meerdere omloopperiodes te meten. Die informatie levert ons een ondergrens voor de massa van elke component. Soms zijn



In het noordoostelijke deel van het sterrenbeeld Carina (Kiel) vinden we heel wat zware sterren. Hier is een gebied getoond van  $6^\circ \times 11^\circ$  rondom de eta Carinae-nivel. Links zien we de sterrenhoop NGC 3603. In het midden zien we het gebied rond de ster eta Carinae. Rechts zien we de Gum 29 nevel, die de sterrenhoop Westerlund 2 bevat. De sterren die met kleine letters zijn aangeduid behoren tot het sterrenbeeld Carina. Foto's: *DSS/ESO/ESA/NASA/W. Brandner, B. Rochau/A. Stolte*.



Links zien we de lichtcurve van de zware nauwe dubbelster WR 20a. We zien hoe de helderheid in de I-band (infrarood) verandert met de fase. De fase loopt van nul aan het begin van elke omlooperperiode tot 1 aan het einde van elke omlooperperiode (3.686 dagen). In totaal werd de ster gedurende 16 nachten waargenomen. Rechts zien we het verloop van de radiële snelheid van de beide componenten met de fase. De lijnen tonen wat we verwachten als de componenten massa's hebben van 83 en 82 zonsmassa. Bemerk dat de minima van de lichtcurve (fasen 0 en 0.5) samenvallen met een onderlinge radiële snelheid van nul: de beide sterren staan dan immers op een lijn met de Aarde. Het grootste verschil in radiële snelheid (fasen 0.25 en 0.75) valt samen met de maximale helderheid: de sterren staan dan 'naast' elkaar en bewegen in tegengestelde zin langsheen de kijkrichting. Gegevens: fotometrie: *Bonanos et al., 2004*; radiële snelheden: *Rauw et al., 2004*.

spectroscopische dubbelsterren ook eclipserend en bedekt de ene component (gedeeltelijk) de andere gedurende de baanomloop. Dan zien we veranderingen in de helderheid, waaruit we de oriëntatie van de baan kunnen afleiden. Dit laat dan toe om uit de spectroscopische gegevens de massa van de beide componenten te halen.

Een flink aantal dubbelsterren is zowel spectroscopisch als eclipserend. Dergelijke systemen kunnen we nauwkeurig bestuderen. We kunnen de massa van de componenten bepalen, maar dikwijls ook de temperatuur, het spectraaltype en de lichtkracht, de totale hoeveelheid energie die de ster per seconde uitstraalt. Wanneer we voor een aantal goed bestudeerde dubbelsterren de massa vergelijken met de lichtkracht en met het spectraaltype, kunnen we duidelijke verbanden zien (zie figuur bovenaan de vorige blz.). We zien dat zwaardere sterren een grotere lichtkracht hebben. Deze relatie, de massa-lichtkracht relatie, zegt dat de lichtkracht ongeveer evenredig is met de derde tot de vierde macht van de massa. Zo is een ster die tien keer zo zwaar is als de Zon ongeveer tienduizend keer zo helder. Er is ook een duidelijk verband met het spectraaltype: de zwaarste sterren zijn duidelijk O-type sterren. Dat zijn sterren met een hoge oppervlaktetemperatuur, die zich links in het Hertzsprung-Russell-diagram bevinden.

Willen we zware sterren vinden, dan moeten we duidelijk op zoek gaan naar zeer heldere sterren met een hoge oppervlaktetemperatuur. Dat kunnen sterren zijn van het spectraaltype O, maar ook zogenaamde Wolf-Rayet (WR) ster-

ren. Dat zijn sterren die een groot deel van hun buitenste lagen hebben weggeblazen en dikwijls een oppervlaktetemperatuur hebben die nog hoger is dan die van O-type sterren.

Willen we dus zware sterren in dubbelsterren vinden, dan moeten we zoeken naar nauwe spectroscopische dubbelsterren met componenten die O-type sterren of WR sterren zijn. Laten we enkele van deze dubbelsterren van dichtbij bekijken.

### WR 20a

De dubbelster WR 20a is lid van de jonge open sterrenhoop Westerlund 2, die in het sterrenbeeld Carina (Kiel) ligt. De afstand tot de sterrenhoop is niet nauwkeurig bekend: men schat dat Westerlund 2 tussen 9000 en 26 000 lichtjaar van ons verwijderd is. Aan de hemel is WR 20a een zwak sterretje met een magnitude van slechts 13.5. Detailwaarnemingen wezen uit dat WR 20a een dubbelrijnige spectroscopische dubbelster is die bestaat uit twee Wolf-Rayet sterren, die met een periode van 3.7 dagen om elkaar draaien. Daarbij varieert de radiële snelheid van elk van de componenten met bijna 800 km/s. Men slaagde er ook in om eclipsen te ontdekken en de inclinatie van de baan te bepalen.

Alle waarnemingen samen wijzen uit dat de componenten een massa hebben van 82 en 83 zonsmassa. Elk van de beide sterren straalt ongeveer één miljoen keer zoveel licht uit als de Zon. De temperatuur aan hun oppervlak be-



draagt 43 000 kelvin. Beide sterren zijn bijna twintig keer zo groot als de Zon. Ze verliezen materie aan een tempo van bijna één zonsmassa per honderdduizend jaar, dat is zowat driehonderd miljoen keer sneller dan onze Zon. Bij hun geboorte hadden beide sterren een massa van ongeveer 100 zonsmassa.

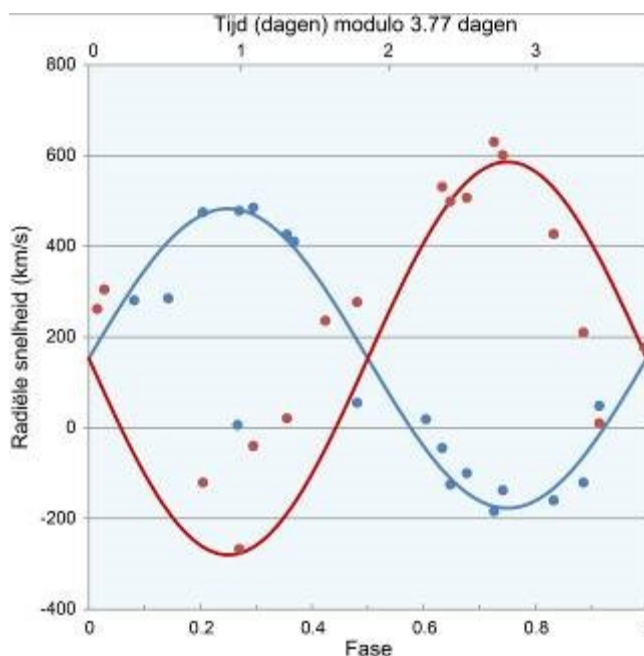
### WR 21a

Slechts 16 boogminuten ten oosten van WR 20a bevindt zich nog een andere zware dubbelster: WR 21a. Dit systeem bestaat uit een Wolf-Rayet ster en een O-type ster, die in 31.7 dagen om elkaar draaien. Het is geen eclipserend systeem, dus we kennen de inclinatie van de baan ten opzichte van de gezichtslijn niet. Uit spectroscopische waarnemingen bleek dat de minimale massa 87 zonsmassa is voor de WR ster en 53 zonsmassa voor de O-ster. Daarmee zou de Wolf-Rayet ster uit WR 21a zwaarder zijn dan de afzonderlijke componenten van WR 20a.

### NGC 3603-A1

Ongeveer zeven graden ten zuidoosten van Westerlund 2, aan de andere kant van de Eta Carinae-nevel, vinden we NGC 3603. Dit is een compacte groep jonge sterren, niet ouder dan één tot twee miljoen jaar, omgeven door immense wolken van geïoniseerd waterstof (HII). NGC 3603 staat ongeveer 20 000 lichtjaar van ons af. De sterrenhoop bevat verschillende zeer heldere O-type sterren en ook enkele Wolf-Rayet sterren.

Eén van de interessante sterren in NGC 3603 wordt met A1 aangeduid. Uit detailonderzoek blijkt dat deze ster een dubbellijnige spectroscopische dubbelster is. Men kon het spectraaltype van de beide sterren niet nauwkeurig bepalen maar men vermoedt dat het Wolf-Rayet sterren zijn. De lichtcurve vertoont ook eclipsen, waaruit men de oriëntatie van de baan kon bepalen. De combinatie van alle waarnemingen wijst uit dat het gaat om twee sterren met een massa van 89 en van 116 keer die van de Zon. Deze waarnemingen zijn echter vrij onzeker: de massa van de zwaarste component kan liggen tussen 85 en 145 zons-



De spectrale waarnemingen van de ster NGC 3603-A1. De omlooperperiode bedraagt 3.77 dagen. De radiële snelheid van de eerste component varieert met 660 km/s, die van de tweede component met 870 km/s. De massa van de zwaarste ster (naar schatting 116 zonsmassa) kan niet nauwkeurig uit de waarnemingen afgeleid worden: men ziet dat de rode curve niet erg goed bij de waarnemingen past. De massa van de lichtste ster (89 zonsmassa) is nauwkeuriger bepaald (blauwe curve). Gegevens: *Schnurr et al., 2008*.

massa. Indien de spectroscopische waarnemingen nauwkeurig zijn, dan is NGC 3603-A1 een dubbele recordhouder: de dubbelster bevat de twee zwaarste sterren die we kennen waarvan de massa direct is gemeten.

*Volgende keer: Deel II: Bovenaan in het Hertzsprung-Russell-diagram.*



## DE STERREN door Jan Cuypers

Alle informatie over het ontstaan en de levensloop van sterren

Welke soorten sterren zijn er?

Wat is OBAFGKM?

Waar en hoe worden sterren geboren?

Hoe verloopt het leven van een ster?

Hoe ziet een neutronenster er van binnen uit?

68 blz, 8.25 euro (verzending inbegrepen)

STORT HET JUISTE BEDRAG OP REKENING NUMMER BE04 7340 2146 8331 VAN DE VVS  
MET VERMELDING VAN "DE STERREN"